

CURSO DE PARAPENTE



Lift no Morro da Palha – Região metropolitana de Curitiba - PR

Parte II Aerodinâmica

Elaboração e responsabilidade por:
MAXIMILIAN HOCHSTEINER – Piloto N III – UP PG – DAC 003 – I

AERODINÂMICA – MECÂNICA DE VÔO

- Geometria da aeronave
- Conceito de perfil Spoiler
- Tipos de perfil
- Princípio da sustentação
- Forças atuantes no vôo, vetores e forças aerodinâmicas
- Estabilidade pendular, lateral, longitudinal e vertical

Gama de velocidades, “polar” de velocidade mínima, de velocidade máxima e penetração, velocidade mínima vertical, velocidade ideal “**finesse**” e velocidade com acelerador / trimmer.



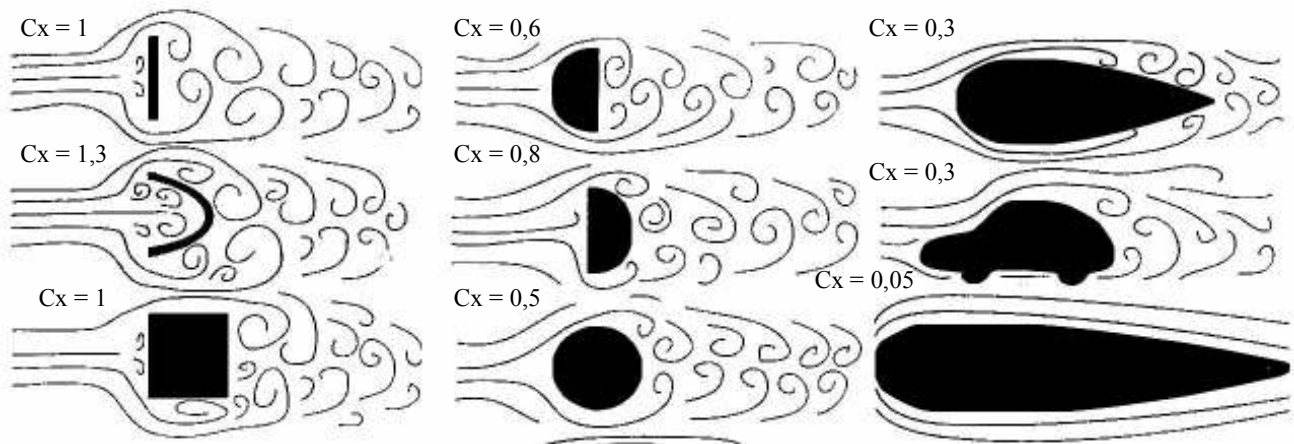
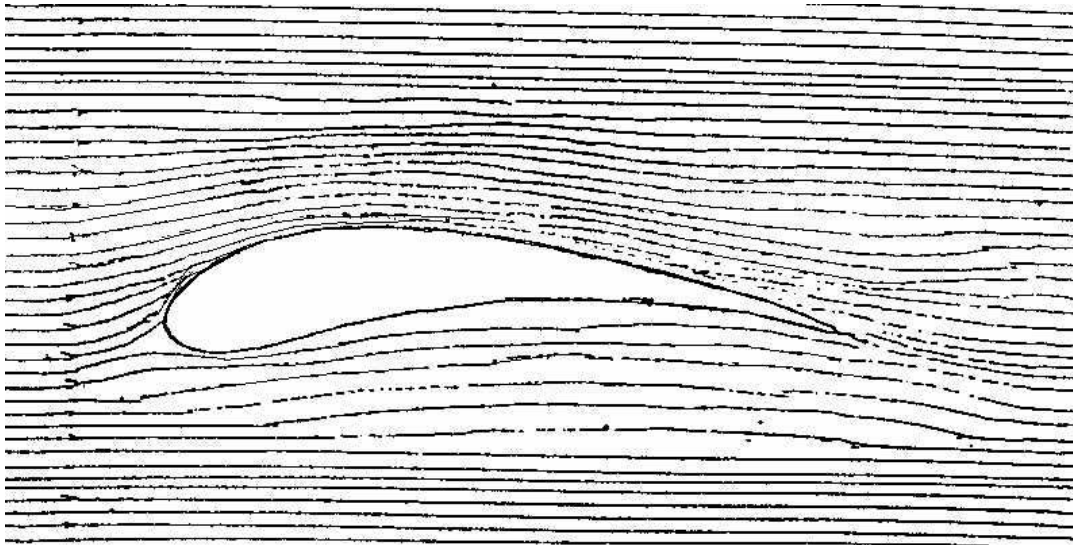
Glider de Otto Lilienthal – Enciclopédia Multimídia Grolier – 1997

INTRODUÇÃO À AERODINÂMICA

AERODINÂMICA: é a parte da física que estuda o comportamento dos corpos envoltos em um fluido, neste caso tal fluido é o ar, e o corpo é o nosso parapente.

O ar, como já vimos em *Metereologia*, é um fluido comprimível, ou seja, a cada aumento de pressão, corresponde a uma diminuição de volume específico e vice-versa. Também é um meio pegajoso, ou seja, mantém-se grudado nos corpos que nele permanecem.

Na *Aplicação Aerodinâmica para Aeronaves de Baixa Velocidade ou Subsônica* (menor que 340 m/s): vamos considerar o ar como um fluido não comprimível até uma velocidade de 200 m/s, dificilmente chegaremos a este limite. Vamos analisar o movimento relativo e o comportamento do ar criado por um corpo durante o evento, e imaginar como o fluido se comporta em relação ao sólido em seu interior, olhando a figura a seguir.

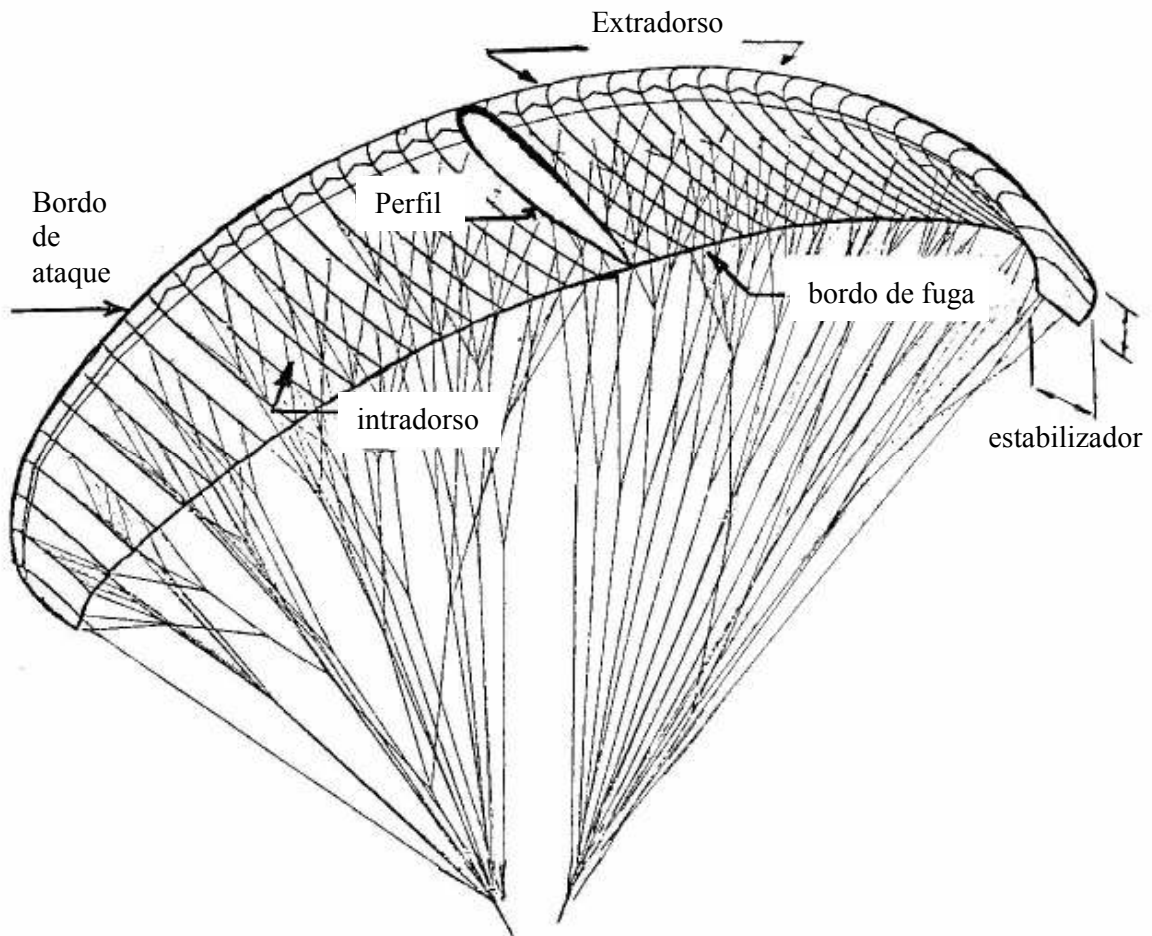


CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DO PARAPENTE

DENOMINAÇÃO OU NOMENCLATURA:

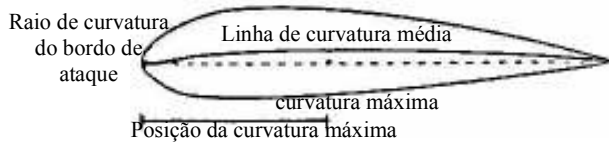
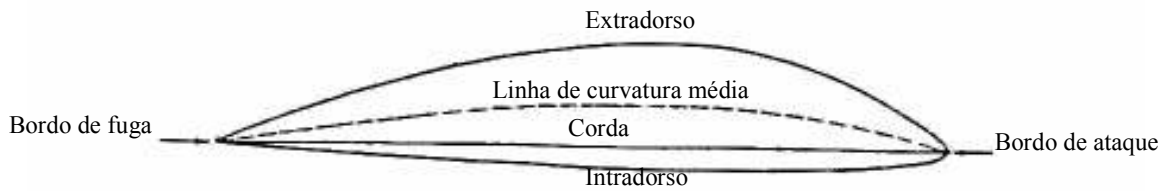
Aerofólios: são todas as partes que produzem forças úteis ao voo.

A figura abaixo mostra a nomenclatura das partes integrantes da asa (spoiler ou aerofólio) de um parapente. A função de cada uma dessas partes será visto a seguir.

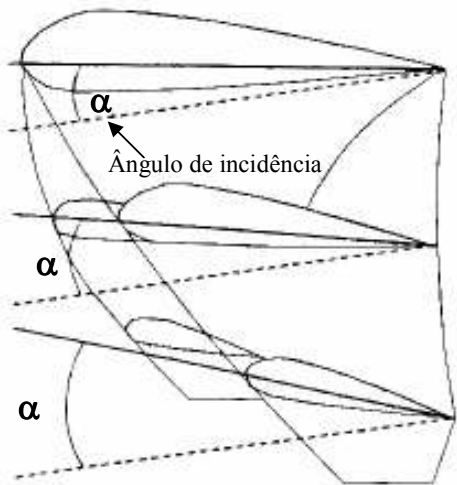


ELEMENTOS DE UM PERFIL

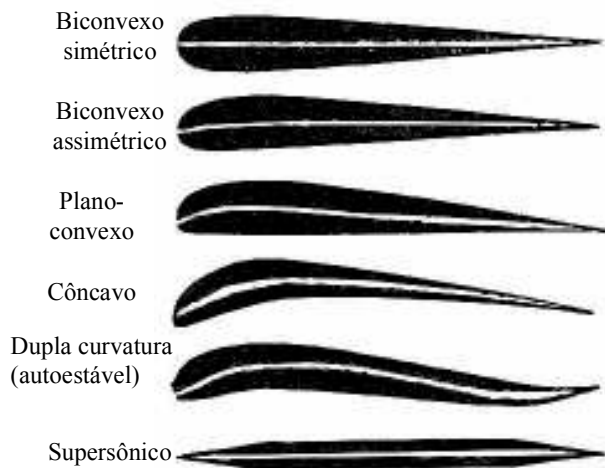
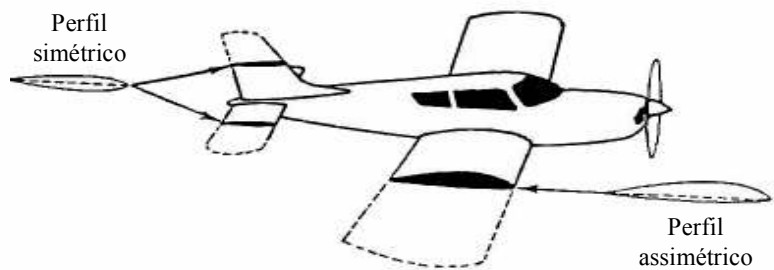
Perfil: é o formato em corte de um aerofólio e suas partes, possuem as mesmas denominações da asa, pois a asa é formada por inúmeros perfis, conforme figura abaixo:



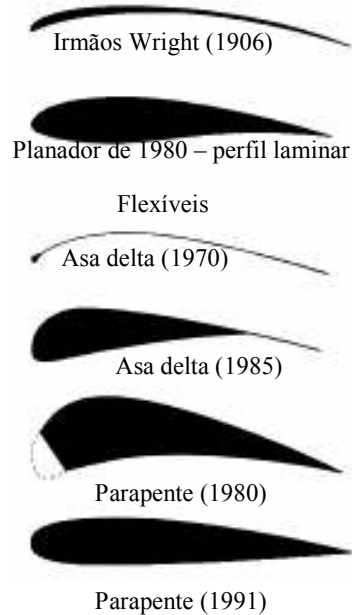
TIPOS DE PERFIL



Parapente (torção positiva)



Perfil de Planadores Rígidos



CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA ASA E SEUS ELEMENTOS

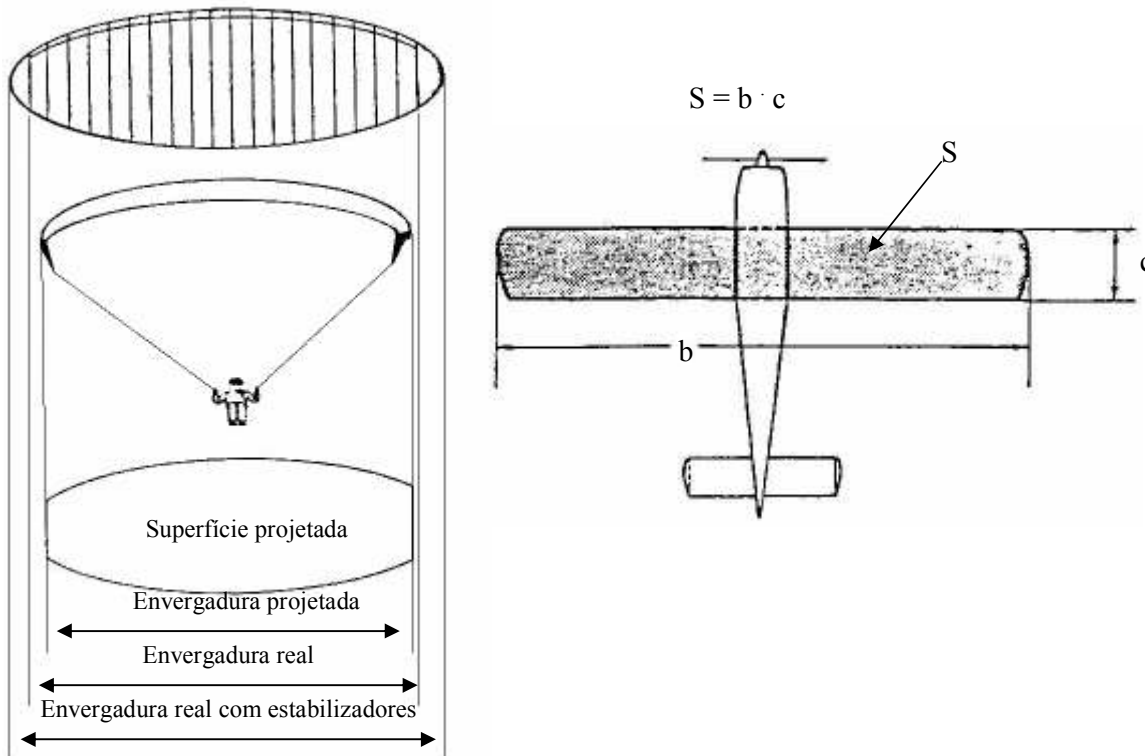
- **Superfície:** se define como a área ocupada por um objeto em duas dimensões (cm², m², km², etc.). Para o parapente, queremos especificar dois parâmetros:

Área real: é o valor encontrado se estendêssemos o tecido (vela) do parapente em uma superfície plana e medíssemos a sua extensão total.

Área projetada: é o valor encontrado se projetarmos a sombra de um parapente sobre uma superfície plana, para podermos descontar a curva que faz a vela.

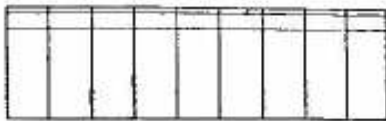
Observe a figura:

Superfície real com estabilizadores



- **Envergadura:** é a distância máxima de um extremo a outro da asa, medido em metros. Também existe uma diferença entre envergadura real e projetada, cujas características já vimos acima.

$$A = E^2 / S$$

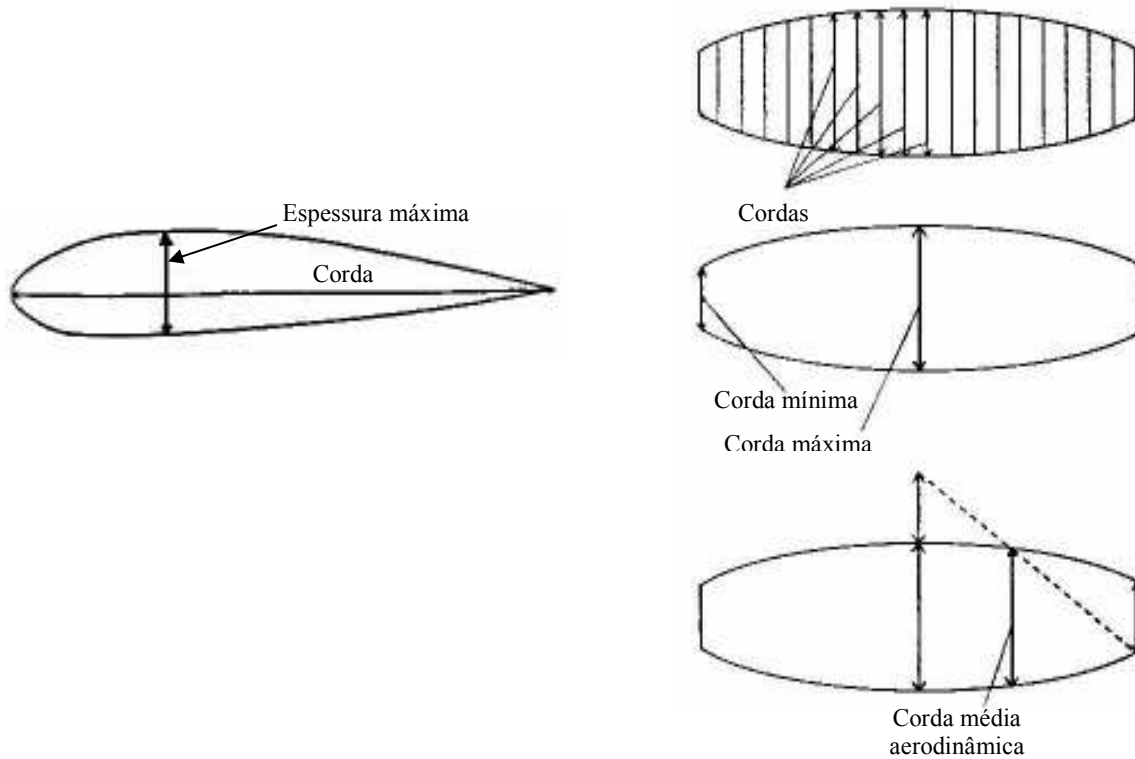


Envergadura: 8,7 m
Superfície: 25 m²
Alargamento: 3

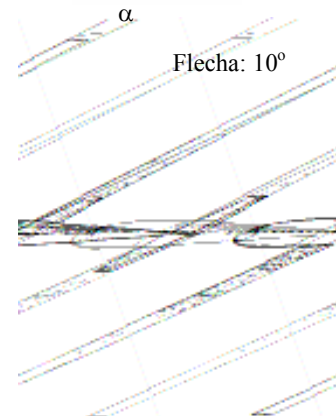
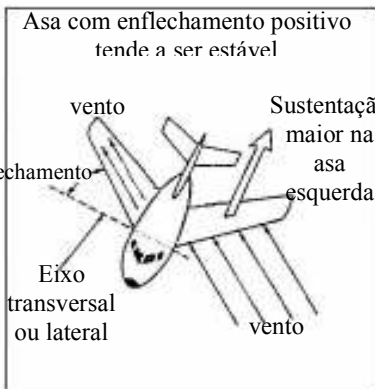
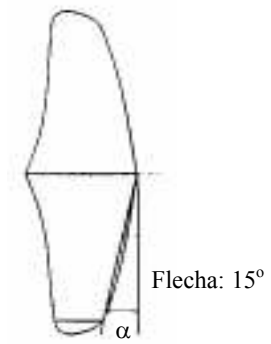


Envergadura: 11,2 m
Superfície: 25 m²
Alargamento: 5

- **Corda:** é a distância entre o extremo do bordo de ataque e o bordo de fuga.



- **Enflechamento:** é a curva que descreve o bordo de ataque, pode ser positiva, nula ou negativa.



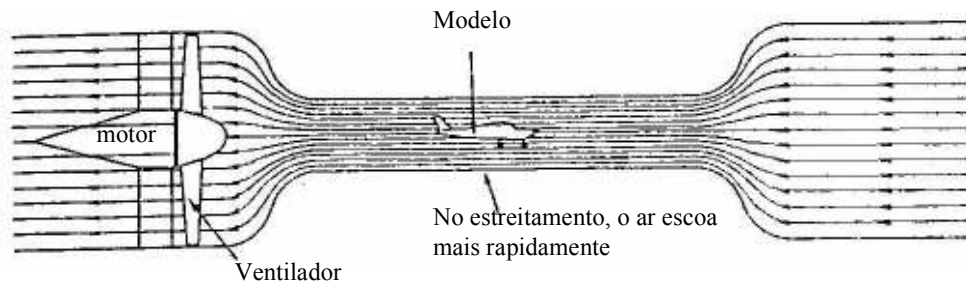
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA ASA E SEUS ELEMENTOS

Porque o parapente voa?

Sempre que forçamos a passagem de um fluido por um tubo, este obedece ao princípio de escoamento. Diz a equação do escoamento “quanto mais estreito for um tubo, maior será a velocidade do fluido e vice-versa”, desde que o volume não se altere.

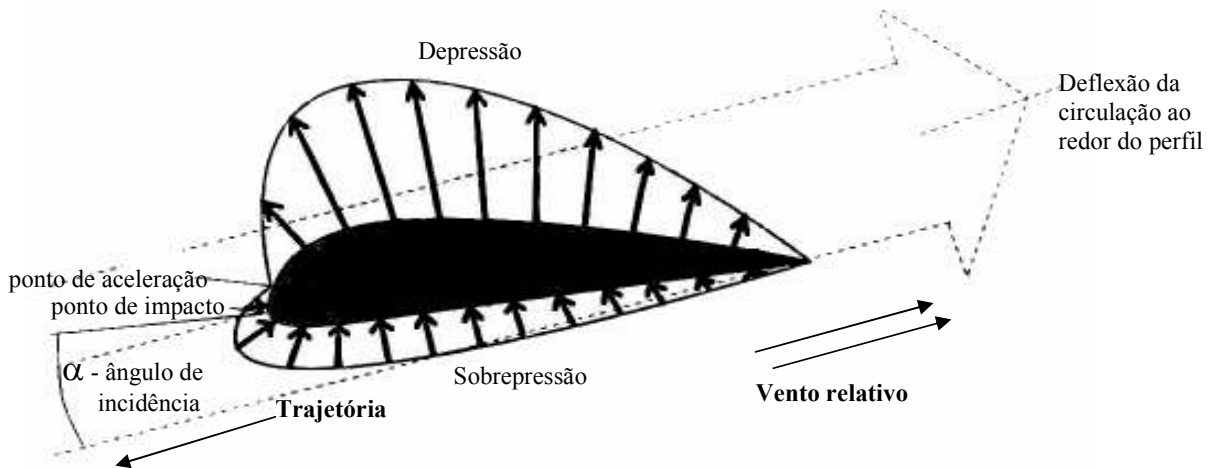
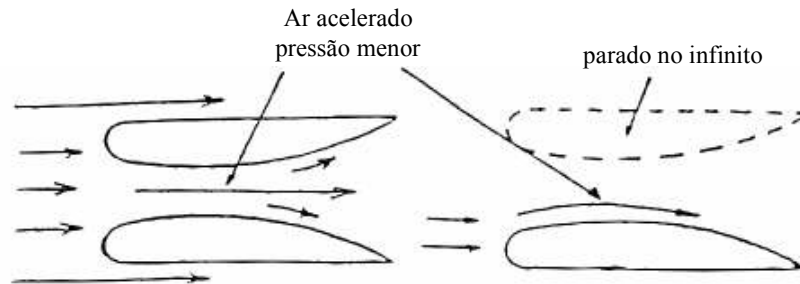
Assim, através do tubo de venturi, podemos demonstrar o princípio de perda de pressão no local de estreitamento, com aumento da velocidade do fluido, isto para um volume constante, conforme figura:

Túnel Aerodinâmico

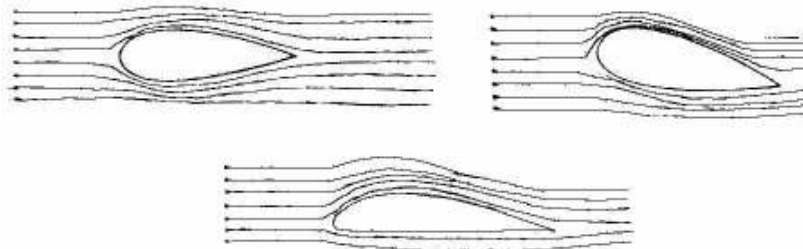
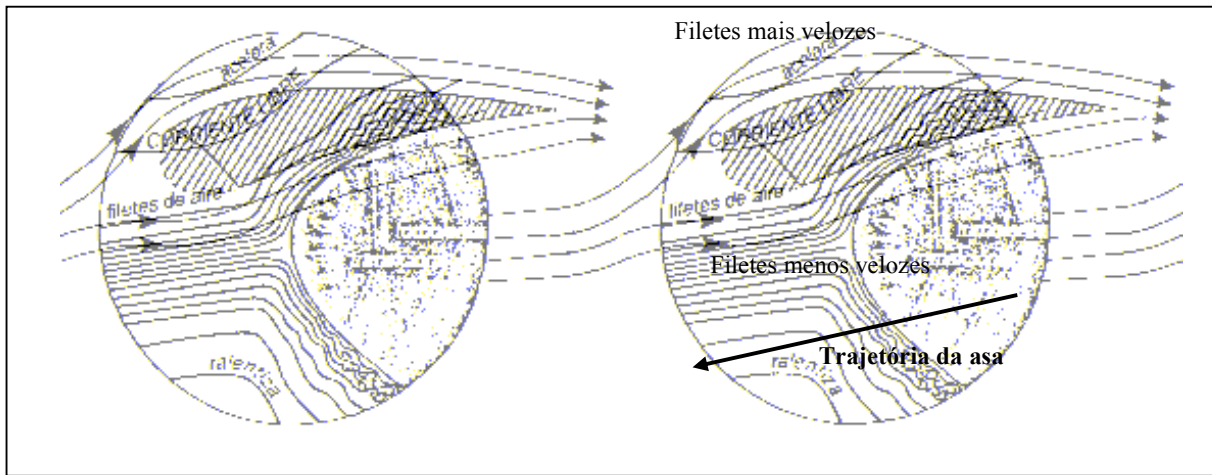
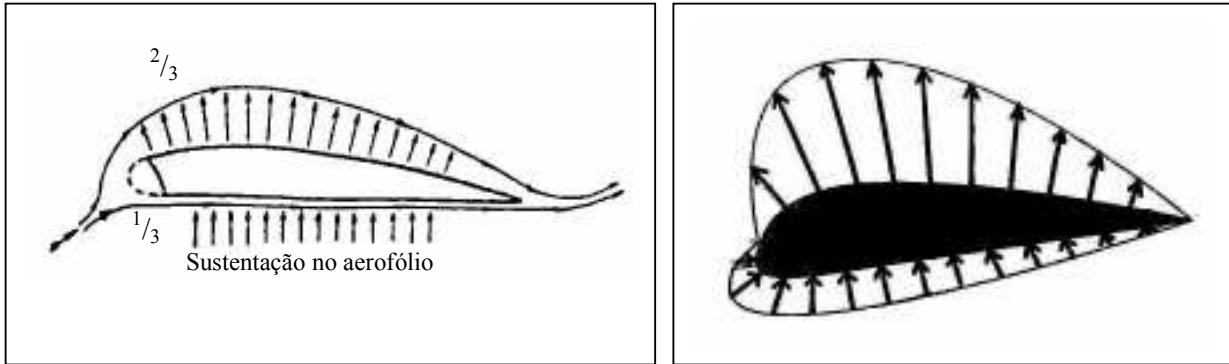


Pensemos agora que um lado do tubo é o perfil de um parapente, onde o ar tem uma distância maior a percorrer por cima do perfil do que por baixo, para uma mesma velocidade.

Isto fará com que a partícula de ar que se desloca para cima, exerça menor pressão do que a partícula que se desloca para baixo, pois acelera mais.

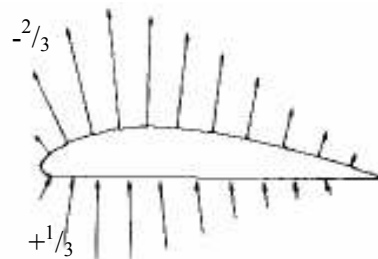


Assim, sobre o extradorso da superfície do parapente, aparece uma região invisível que exerce menos pressão que no intradorso, onde a pressão não se altera.



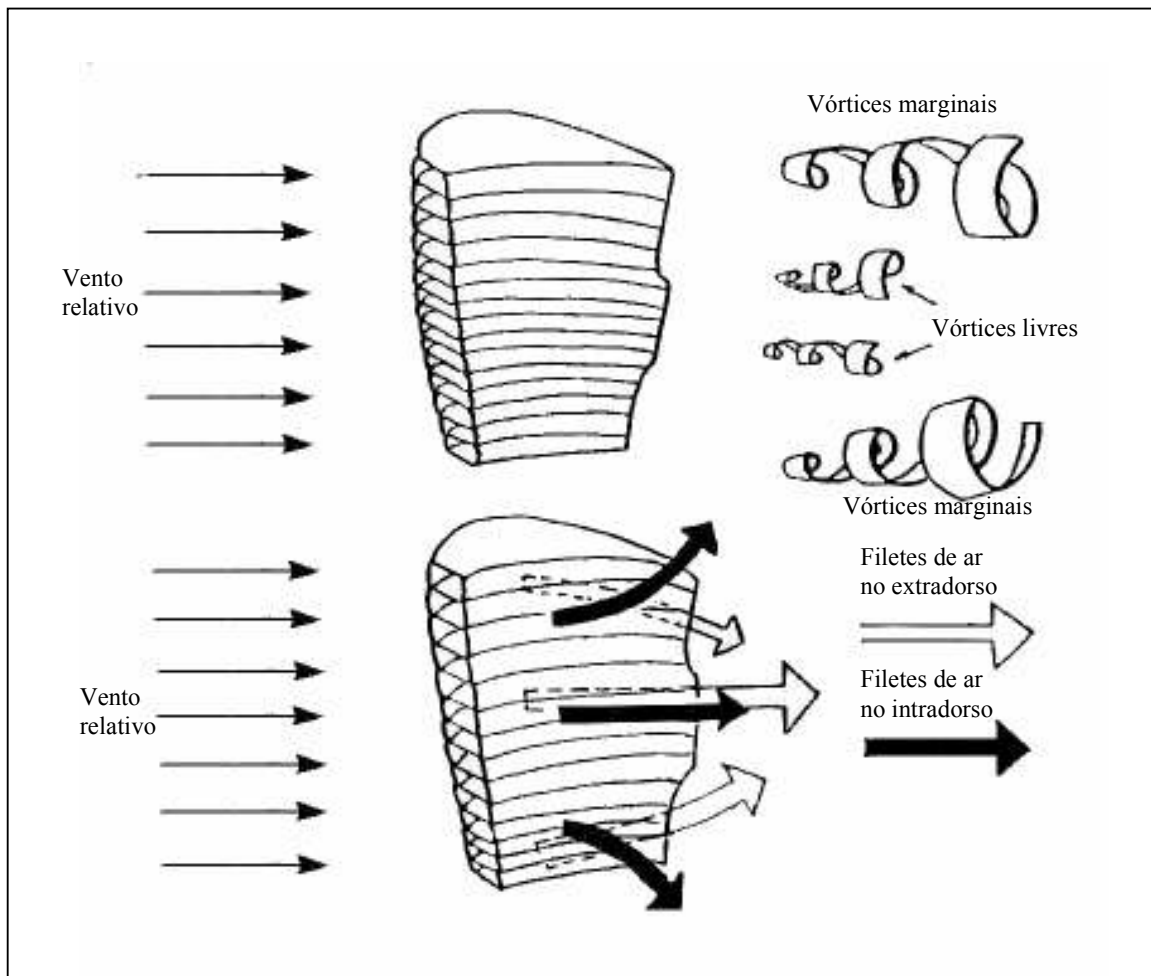
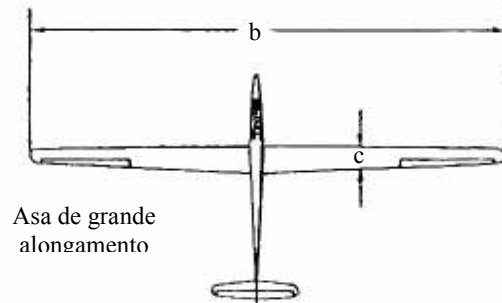
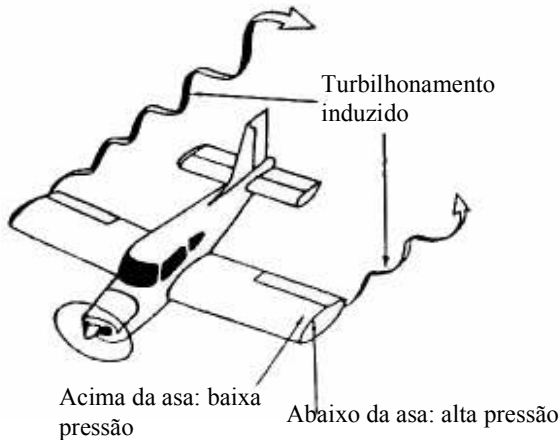
Num perfil assimétrico, o caminho mais comprido na parte superior do perfil é construído.

A maior velocidade sobre a parte superior tem como efeito as partículas de ar nesta parte tornarem-se mais espaçadas (menor densidade) do que na parte inferior, onde as partículas de ar tornam-se mais juntas, pressionadas (maior densidade).

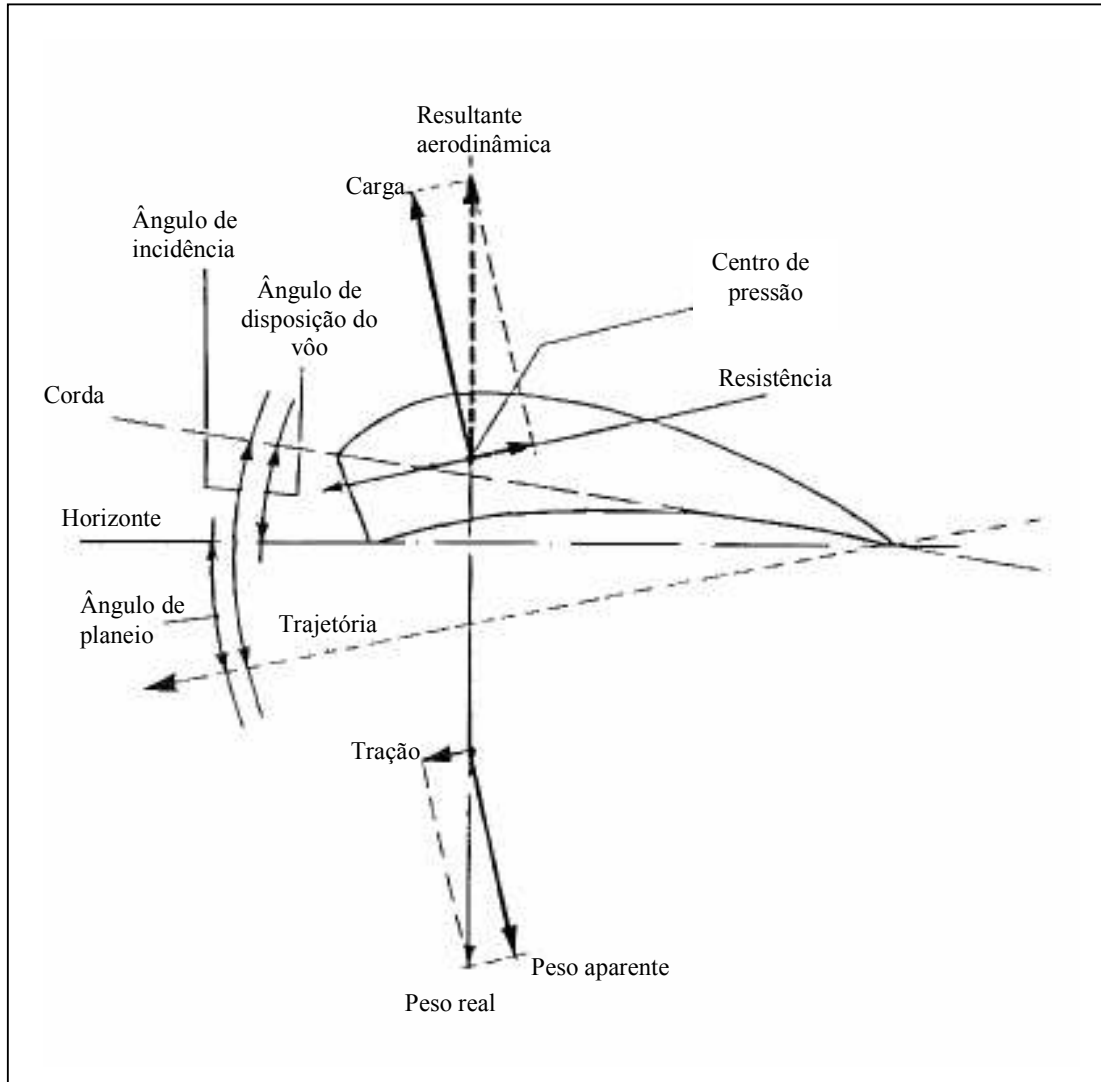


Arrasto induzido: na formação da sustentação do perfil, aparece uma diferença de pressão entre o extradorso e o intradorso, que acompanha todo o comprimento da asa (envergadura). Quando estas diferenças de pressão encontram-se no final da asa, provocam um turbilhonamento em espiral do ar. A isto chamamos de **arrasto induzido**.

O arrasto induzido pode ser atenuado através de dispositivos na ponta das asas (spoilers estabilizadores). É impossível se eliminar o arrasto induzido, somente com uma asa de envergadura infinita. O turbilhonamento induzido ou vórtice induzido é maior nas baixas velocidades, quando o parapente aumenta o ângulo de ataque (pousos e decolagens).



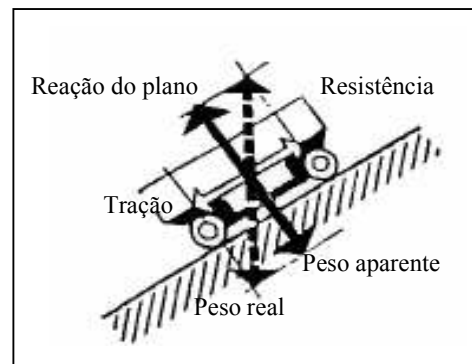
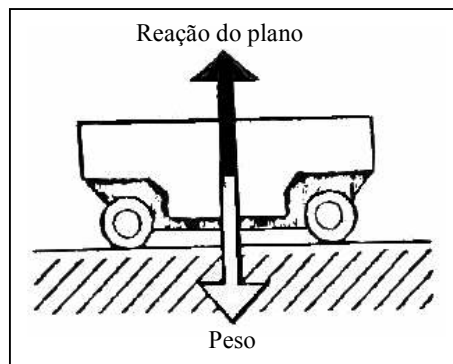
PERFIL E SUA COMPOSIÇÃO DE VETORES



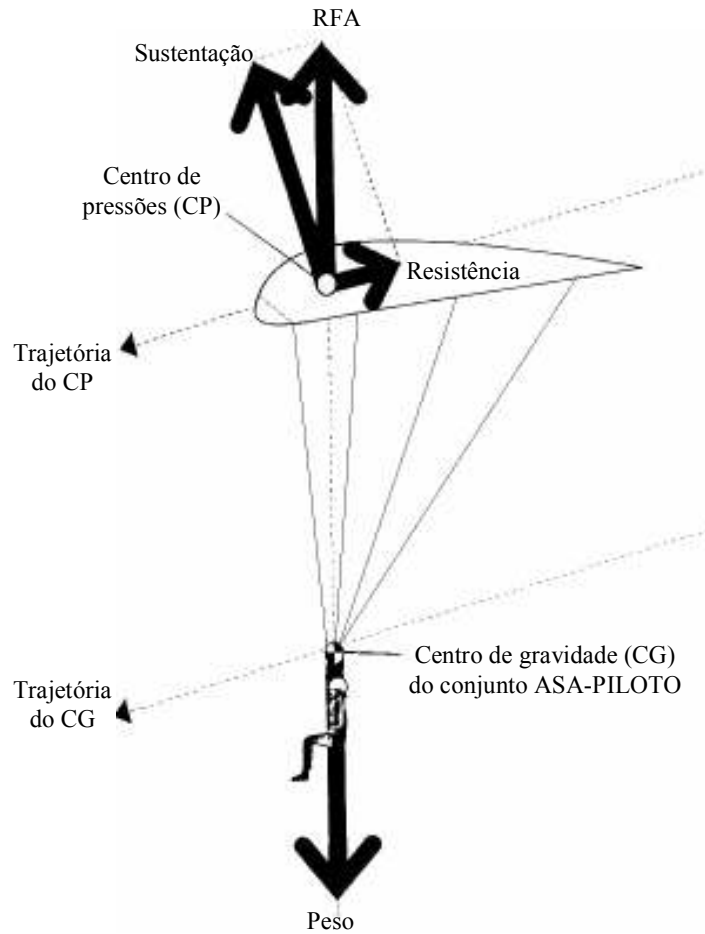
“A toda ação, corresponde uma reação de igual intensidade, mas de sentido contrário”, é o enunciado do equilíbrio de forças, dito de um gênio da física, Isaac Newton, no século XVII.

Então, à toda força vetorial, corresponde um vetor reação de igual intensidade, mas de sentido contrário, para que haja equilíbrio no sistema.

Na figura acima, vamos começar analisando os vetores que compõem o sistema.

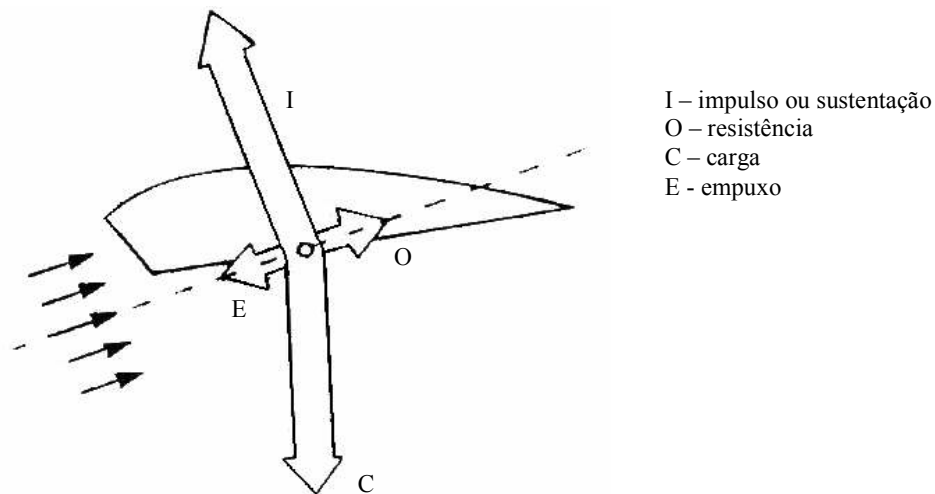


O piloto possui um peso (carga), e terá uma reação oposta, que chamamos de **RFA** de igual valor. Na trajetória do vôo, terá um vetor oposto que chamamos de **resistência**, já levando em consideração todo o arrasto do conjunto formado por piloto, plano de linhas e vela.

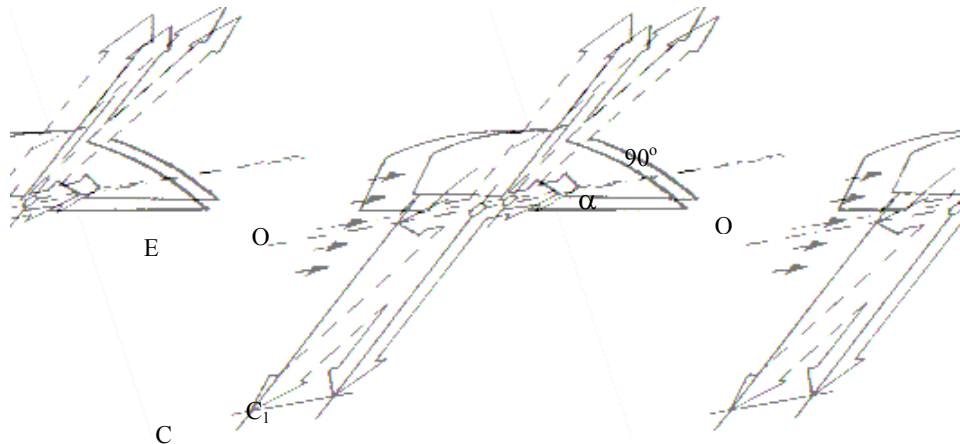


Conforme vimos no *Princípio de Sustentação Aerodinâmica do Aerofólio*, este quando em movimento, gera um vetor que chamamos de **sustentação**.

Todos estes vetores ação e reação, encontram-se no interior do perfil em um local denominado centro de pressão (CP).

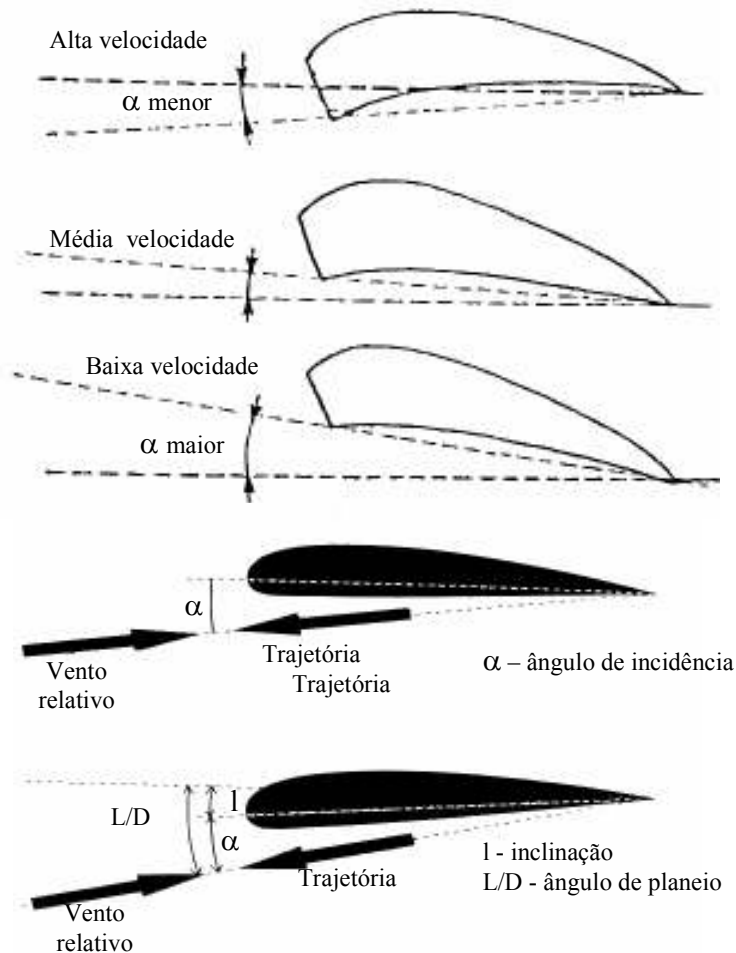


Quando este conjunto de forças atuantes está em equilíbrio, o parapente está em vôo contínuo, em sua razão de planeio, podemos dizer que tem atitude de vôo.



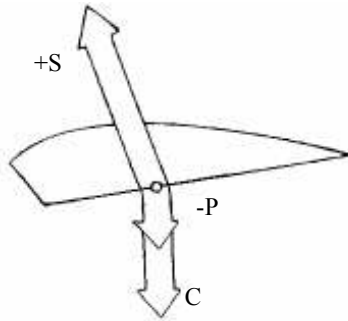
Toda vez que desequilibrarmos o conjunto de forças atuantes no CP, teremos reações e atitudes de vôos diferentes.

Ainda, entre a trajetória executada pelo parapente e a corda do perfil, aparece uma outra grandeza chamada **Ângulo de Ataque** ou **Ângulo Alfa**. É a variação do ângulo de ataque, através dos comandos ou deslocamento do centro de gravidade, que percebemos as variações no conjunto de forças vetoriais atuantes no CP.



Por exemplo:

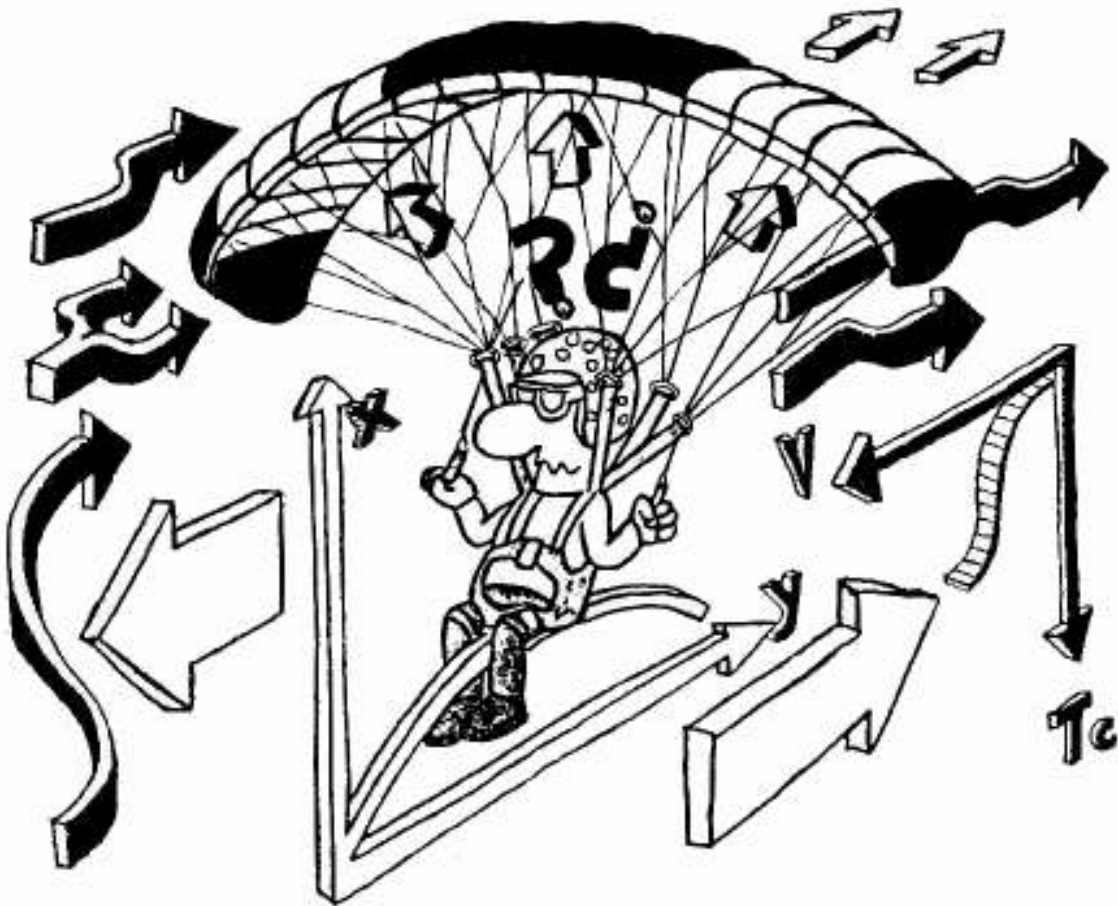
Para aumentar o vetor sustentação do conjunto, basta diminuir o vetor resistência, o piloto não pode emagrecer?



É claro que pode !!! Ou, já que a resistência não pode ser alterada porque faz parte do projeto do equipamento, um piloto mais leve significa maior vetor de sustentação.

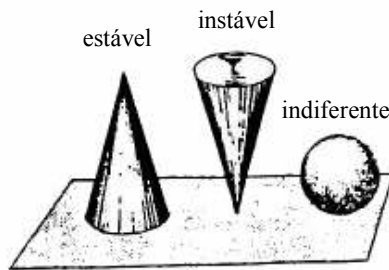
Esperamos que tenha sido esclarecedor em partes, como o perfil ajuda na elevação do conjunto, também existem outras variáveis envolvidas, com por exemplo a superfície da vela, conceitos do parapente, etc.

Todos esses aspectos devem ser levados em consideração na hora de voar.

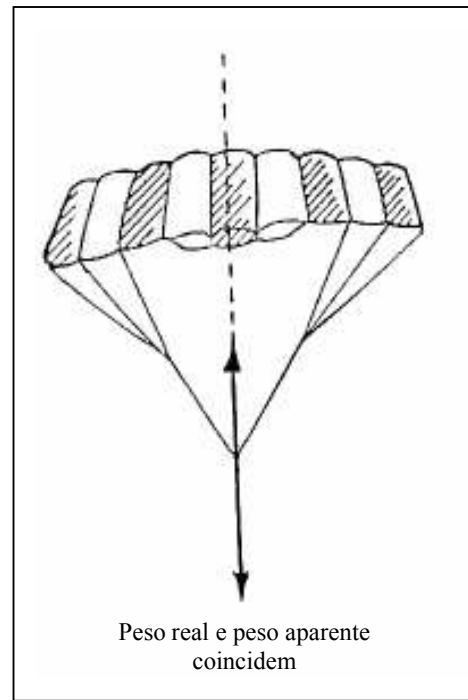
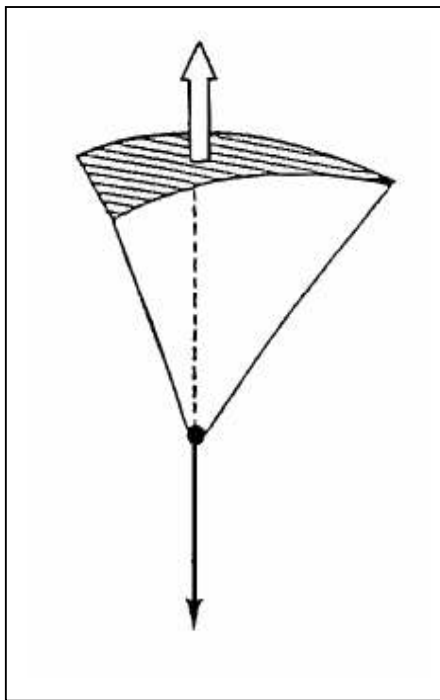


ESTABILIDADE PENDULAR

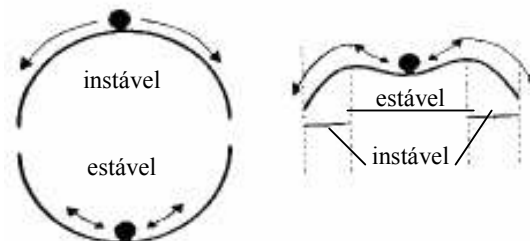
Existem 3 tipos definidos no conceito de equilíbrio de um objeto: equilíbrio estável, equilíbrio instável e equilíbrio indiferente.



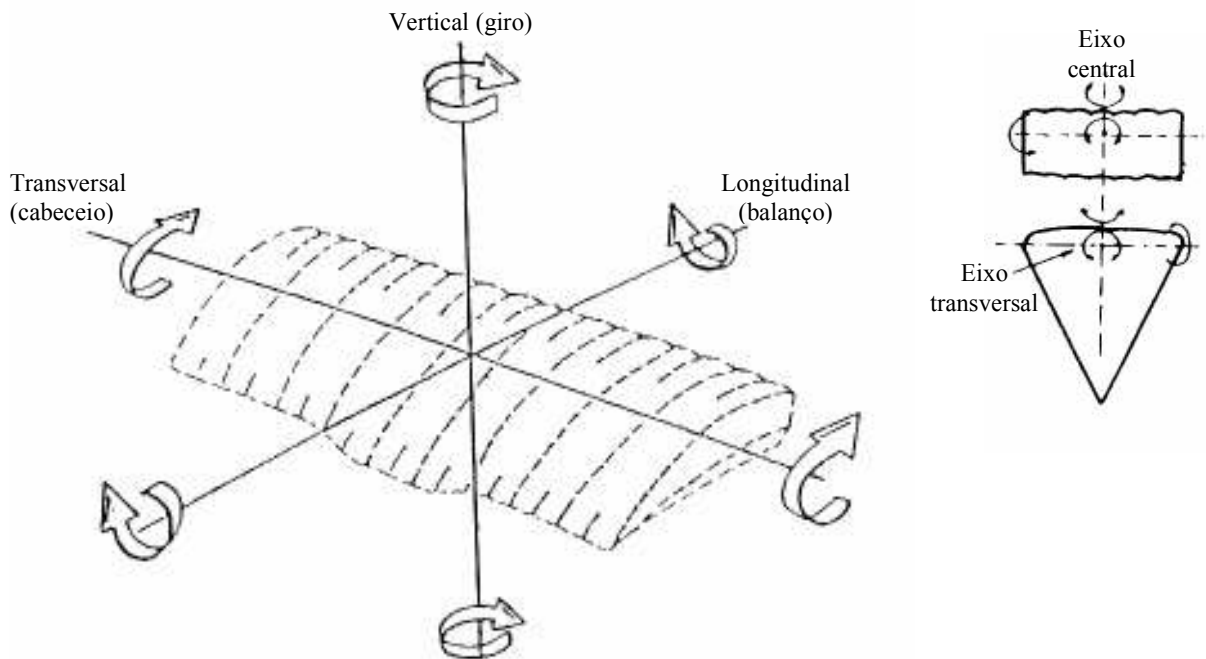
Dizemos que algo está em **equilíbrio estável**, quando, com o passar do tempo, seu centro de gravidade não se altera. Analogamente para o parapente, este equilíbrio estável diz respeito a voltar para a sua posição de origem, já que o piloto encontra-se suspenso. A esta situação, chama-se **efeito pendular**.



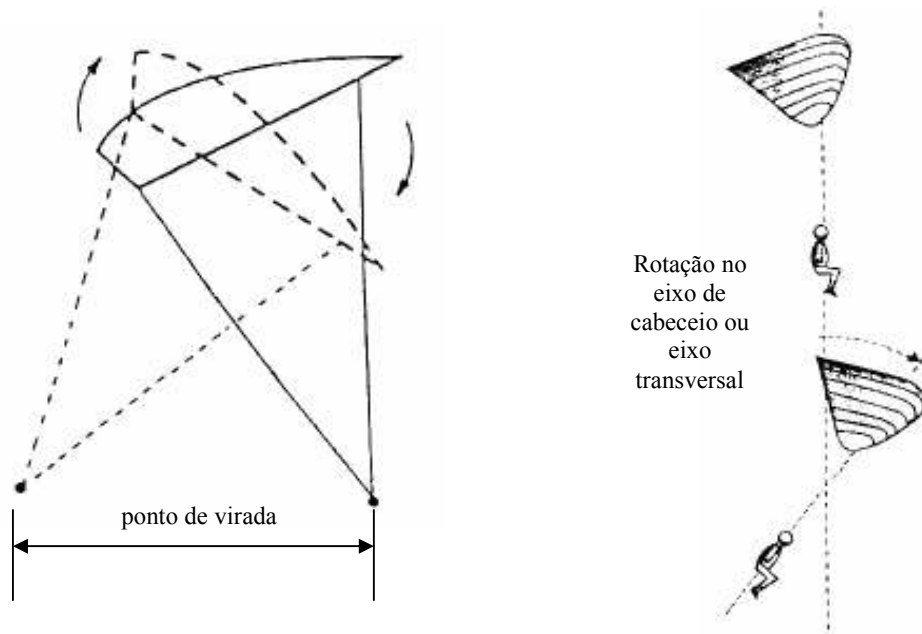
O parapente, por ter uma forma arqueada, precisa ser compensado na pilotagem, para manter este equilíbrio pendular.



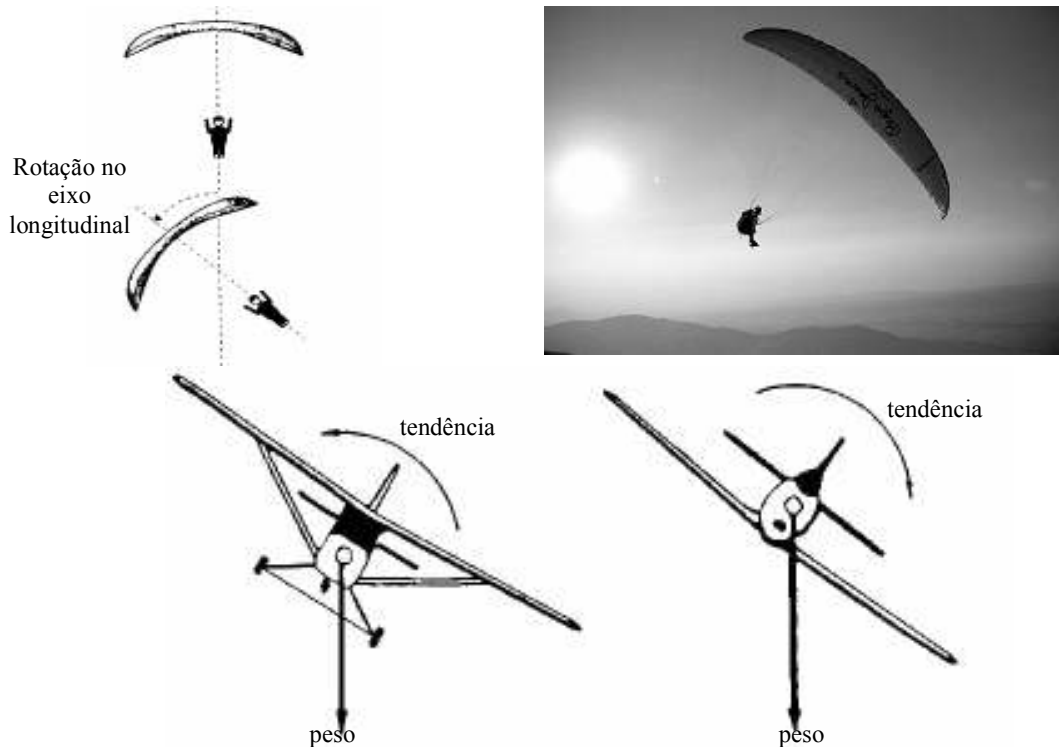
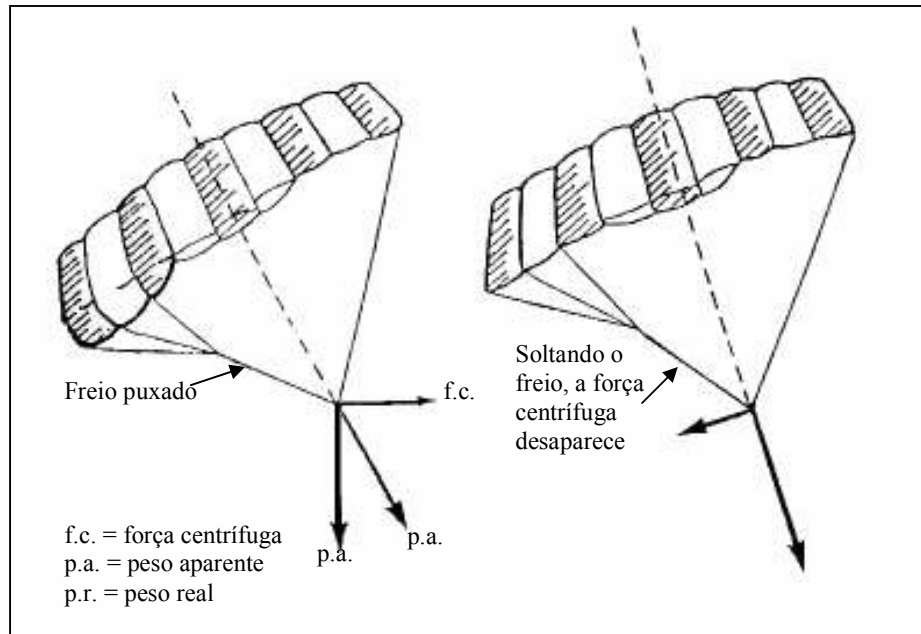
A ação pendular pode ocorrer em 3 eixos:



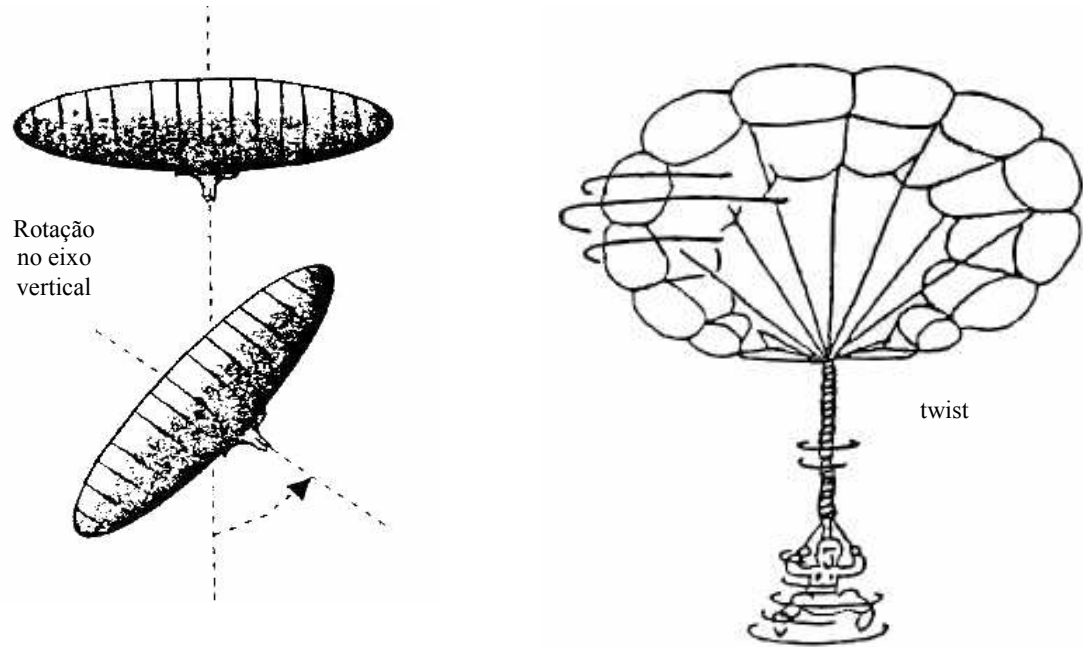
- Eixo transversal ao deslocamento de vôo: neste caso, o piloto atua nos comandos de maneira equalizada, freiando e acelerando de modo a aumentar o cabeceio para frente e para trás, até o limite chamado “ponto de virada”. Se o piloto estiver na frente, cairá para trás, pois a velocidade foi exposta ao máximo em seu ataque, os filetes de ar se descolam e geram turbulência e não mais sustentação; se o piloto estiver para trás, a vela por ter velocidade, tende a completar o giro com o centro no piloto, as linhas perdem tração pois o piloto começa a cair no mesmo sentido da vela.



- Eixo central ou longitudinal: o piloto atua nos comandos de maneira assimétrica, primeiro força um dos lados, depois alivia bruscamente e força o lado oposto (freio direito e esquerdo ou vice-versa), de modo a aumentar o balanço para os lados até o limite, chamado “estabilidade pendular”. Se o piloto estiver muito para o lado, de modo que o eixo transversal da vela aponte para o plano do chão, as linhas da parte de baixo perderão tração, e a asa fechará assimetricamente, fazendo com que o piloto caia até o conjunto recuperar seu vôo.



- Eixo vertical: o piloto gira em torno de si mesmo, caso a vela sofra algum tipo de colapso quando à retomada do vôo, o piloto encontra-se virado para um lado e o bordo de ataque da vela deslocado em sentido oposto. Este giro pode ser acentuado pela turbulência durante o vôo, o piloto pode decolar de costas e ter que girar para a frente na direção do vôo (twist).



PARÂMETROS DE UM PARAPENTE

Conjunto asa-piloto tem uma configuração muito especial, distinta de qualquer outro tipo de aeronave conhecida.

Alguns fatores pesam muito nesta escolha de equipamento, o parapente, sendo o voo lento um dos aspectos mais críticos a serem analisados.



Piloto: Carlos – Morro da Palha – Curitiba - PR



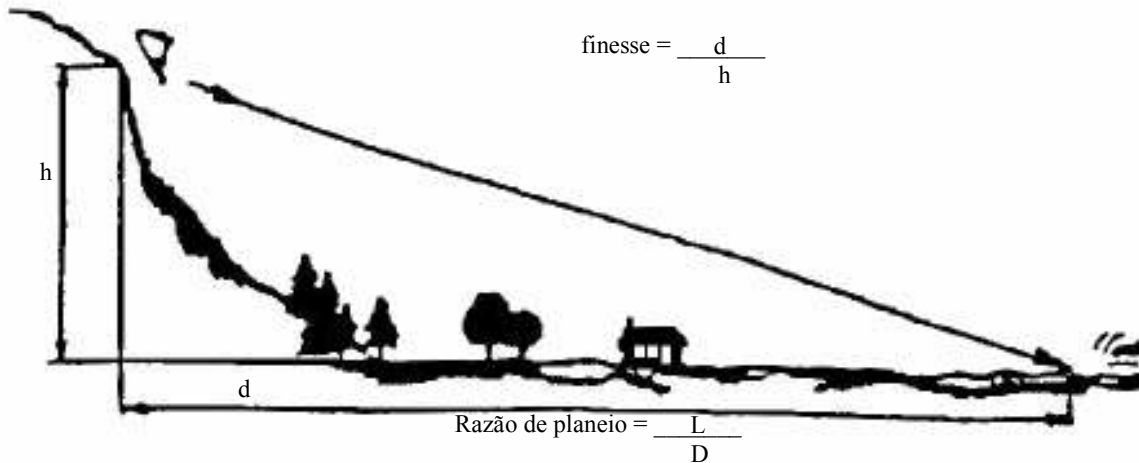
Piloto: Mauro – Morro do Careca – Camboriú - SC



Piloto: Bira – Morro da Palha – Curitiba - PR

RAZÃO DE PLANEIO

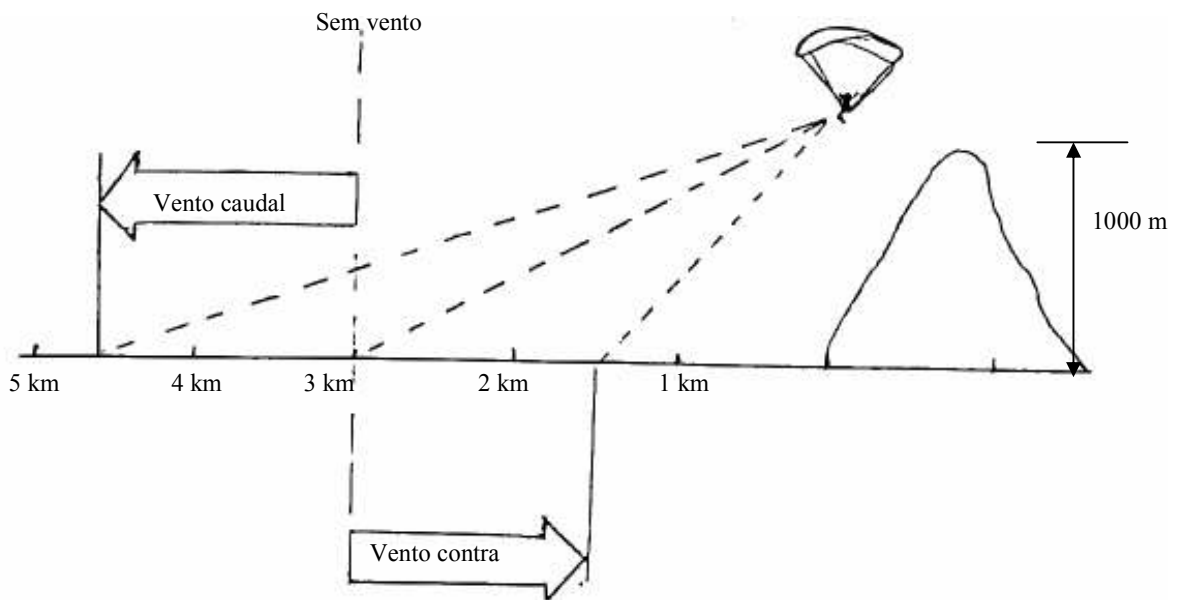
É a diferença entre a sustentação e o arrasto. Hoje, alguns parapentes mais competitivos apresentam razão de planeio entre 7 e 9, ou seja, são capazes de voar 7 ou 9 metros para frente e descer somente um.



A título de cultura aeronáutica:

L/D de parapente.....	7 a 9
L/D de Xavante com motor parado	10 a 12
L/D de Asa-delta.....	10 a 12
L/D de planador	30 a 60

A razão de planeio demonstra o comportamento do impulso e da resistência. Ela é a medida que mostra a quantidade de metros percorrida durante a perda de um metro de altura.



CARGA ALAR

É o quociente entre o peso total sustentado (piloto mais equipamentos), pela área total da vela. É a carga que cada metro quadrado da vela terá que sustentar, expresso em kg / m^2 .

Carga alar grande: maior que 3,5 quilos por metro quadrado.

- Maior velocidade;
- Maior afundamento;
- Maior rigidez na vela.

Carga alar pequena: menor que 3,5 quilos por metro quadrado.

- Menor velocidade;
- Menor afundamento;
- Menor rigidez na vela.

OBS: A carga alar não tem influência nenhuma sobre a razão de planeio.



Piloto: Paulo – Morro do Careca – Camboriú - SC

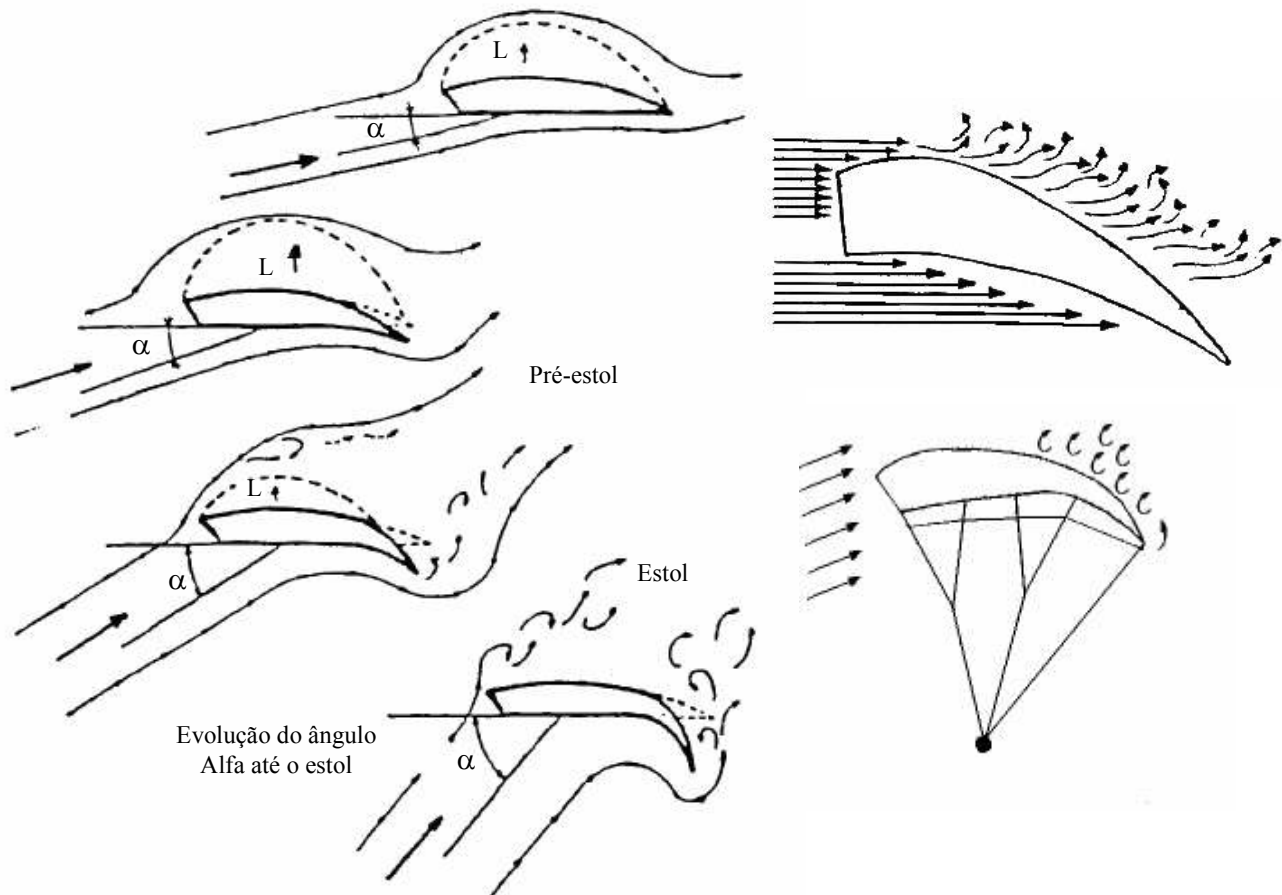
GAMA DE VELOCIDADES

O parapente possui dois tipos de velocidade: uma horizontal, para frente, no sentido de seu deslocamento, que chamamos de velocidade relativa e outra vertical, para baixo, afundando.

Primeiro vamos analisar as velocidades horizontais:

- *Velocidade máxima*: obviamente será aquela velocidade máxima possível determinada pelo tipo e concepção do parapente. Hoje já existem parapentes com velocidades superiores a 60 km/h.
- *Velocidade mínima*: é aquela determinada pelo equipamento antes dos filetes de ar que escorregam pelo perfil se desprenderem e gerarem sobre a vela uma turbulência. Alguns parapentes possuem velocidade mínima de 20 km/h, é o “objeto” voador mais lento possível já idealizado pelo homem.

Observação: atuando nos freios até 100 %, o equipamento perde toda a sua velocidade horizontal e o filetes de ar geram uma turbulência sobre a vela e o piloto tende a cair. Esta situação é denominada estol (stall).



- *Velocidade de melhor planeio*: é a velocidade horizontal em que o equipamento responde pelo seu melhor rendimento, planando o máximo, nem sempre com menor afundamento. A curva polar de cada parapente é definida pela tangente que toca a curva e passa pela origem do sistema.
- *Velocidade de menor afundamento*: coincide com a velocidade de melhor planeio, pois o equipamento voa mais tempo, perdendo altura devagar.

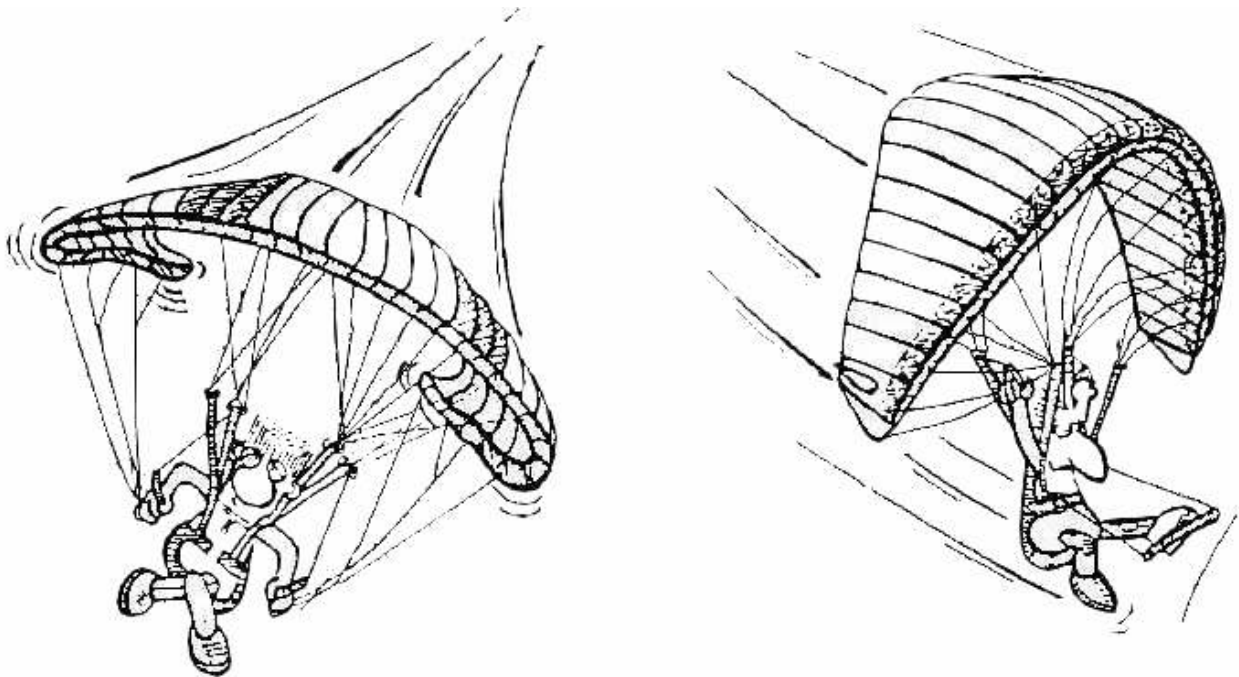
Velocidades verticais:

São medidas por instrumentos (variômetros) e normalmente são expressas em m/s.

Afundamento: é a velocidade vertical, mostrada quando o equipamento desce, os parapentes quando novos, possuem afundamentos bem suaves, em torno de 1,2 m/s.

Maior afundamento: o afundamento máximo que pode ser alcançado sem a utilização de sistemas de aceleração disponíveis no equipamento.

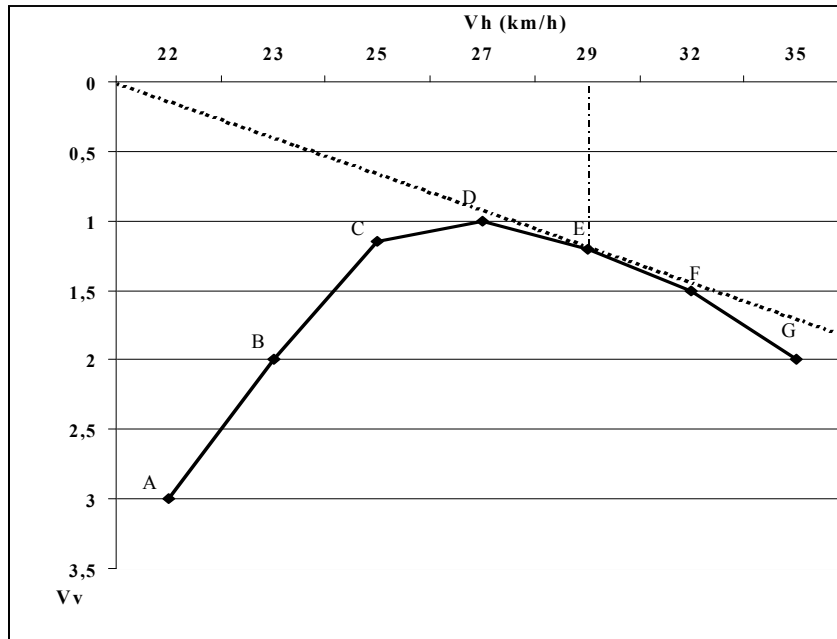
Em geral, pode-se conseguir os afundamentos máximos, nas velocidades horizontal mínima (pré-estol) e na horizontal máxima, com tudo acelerado, conforme o modelo e a performance do parapente.



CURVA POLAR

É um sistema didático montado sobre dois eixos para análise de performance e evolução de pilotagem.

- Eixo horizontal registra as velocidades horizontais em km/h.
- Eixo vertical com origem para cima, registra as velocidades verticais, ou seja, afundamentos em m/s.



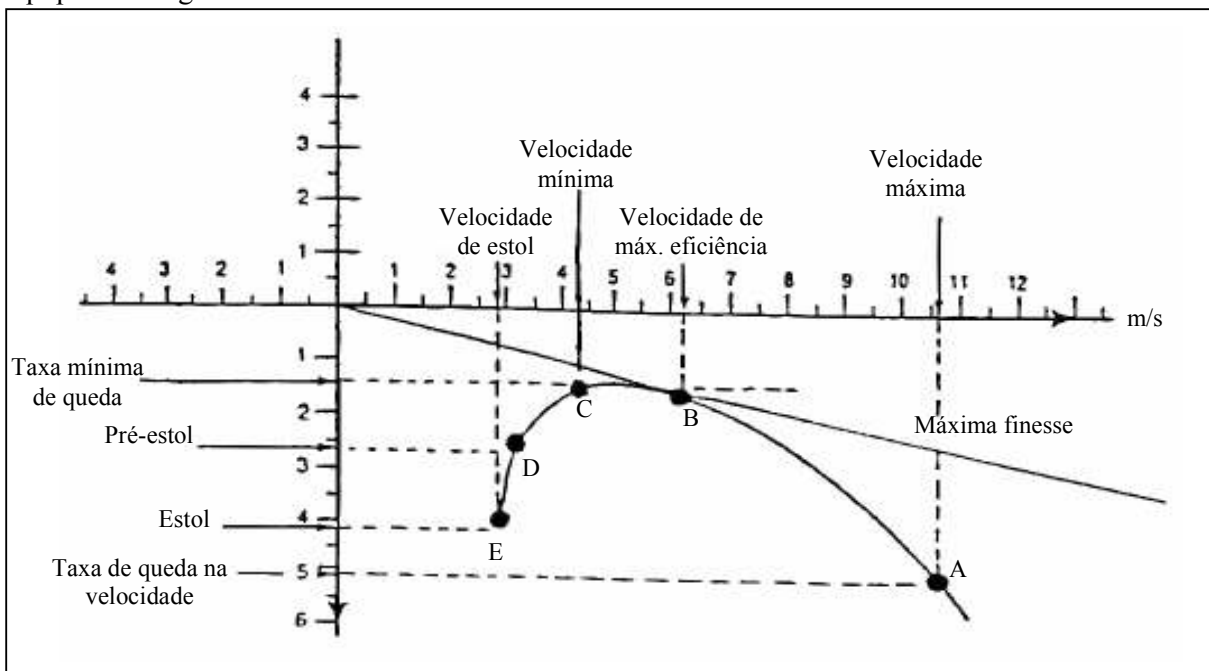
Pontos na curva

- A- Estol
- B- Estol
- C- Pré-estol
- D- Menor razão de descida: 1 m/s com 27 km/h
- E- Melhor L/D: 29 km/h com 1,2 m/s
- G – Maior velocidade: 35 km/h

$$\begin{aligned} \text{Melhor L/D} &= V_h (29 \text{ km/h}) : V_v (1,2 \text{ m/s}) \\ &= (29.000 : 3600) : 1,2 \\ &= 8,05 : 1,2 \\ &= 6,7 \end{aligned}$$

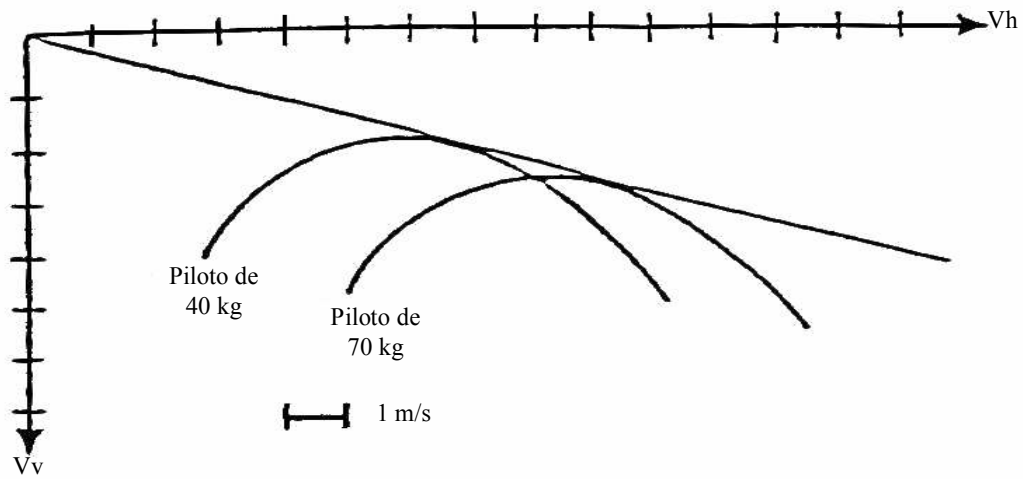
A tangente à curva que passa pela origem, demarca o ponto onde o equipamento desempenha a melhor performance.

A curva é construída baseada em dados práticos coletados por pilotos de prova, voando equipados e registrando valores.



Na figura, podemos ver que o peso do piloto não interfere no planeio do equipamento, pois, se o parapente tem uma razão de planeio de 5/1, a curva polar continua tangenciando o melhor rendimento.

Assim, o peso do piloto só interfere na velocidade vertical, ou seja, mais pesado afunda mais rápido.



Elaboração e responsabilidade por:
MAXIMILIAN HOCHSTEINER - Piloto N III – UP AG – DAC 003-I
Digitalização gráfica e Internet:
MAURO H. M. TAMBURINI – Piloto N II – FPVL B 2260

Bibliografia II

- AMBROSINI, Sílvio Carlos e VIVANCO, Denis, Apostila Ciclo de Palestras Técnicas de Paraglider - Ventomania Paragliding School.
- DOMINGO, Mário Arqué. Parapente Iniciación Manual Práctico – Editora Perfils, 5ª Edição, 1995 – Espanha.
- HOMA, Jorge M. Aerodinâmica e Teoria do Vôo – Asa Edições e Artes Gráficas, São Paulo.
- KARSON, Paul e colaboradores. A conquista dos ares (romance da aviação) – Editora Globo, 1ª. Edição, 1948, Rio de Janeiro.
- PAGEN, Dennis. Walking on the Air ! Paragliding Flight. 14ª Edição, Estados Unidos. Janeiro, 1990.
- PINTO, Paulo Cmte. Manual do Piloto de Parapente – MAPIL. Gávea Sky Walkers, 3ª Edição, Rio de Janeiro, 1996.
- PORTA, Dante. Curso de Parapente – Editora Devecchi S.A., Barcelona, Espanha.
- PRADI, Ari Carlos. Parapente, o Caminho Mais Curto Para Voar. Fun Gliders Equipamentos Esportivos, 1994. Jaraguá do Sul – SC.
- RIZZO, Ermano. Volare in Parapendio. Editora Mursia, 1990 – Milão, Itália.
- ROCHA, Luiz Carlos Weigert – Teoria de vôo de baixa velocidade – Escola de Aperfeiçoamento e Preparação da Aeronáutica Civil – Seção Gráfica – 1ª Edição, 1991.
- SCHWENCK, Antônio e MENEGHETTI, Adalberto J. Vôo à vela – Planadores, Escola de Aperfeiçoamento e Preparação da Aeronáutica Civil, 1977. Rio de Janeiro.
- SEMENOFF, Stefan.. Curso de Paragliding. Apostila Ar Livre.